

**Оцінювання рівня якості технологічних процесів автосервісних підприємств**

**Л. А. Тарандушка, В. П. Матейчик, Н. Л. Костьян, І. П. Тарандушка,  
М. П. Рудь**

*Досліджено задачу ідентифікації залежності рівня якості технічного обслуговування та ремонту автомобілів від параметрів, що враховують внутрішній стан автосервісного підприємства та зовнішні фактори, що характеризують середовище його функціонування та автомобілі, які обслуговуються підприємством. В процесі дослідження виконано морфологічний аналіз системи автосервісу, в результаті якого визначено функціональні елементи системи, суттєві морфологічні ознаки даних елементів та варіанти їх реалізації. З метою виявлення ступеня впливу зазначених морфологічних ознак на якість виконання технологічних процесів проведено обстеження типових підприємств автосервісу України та побудовано математичну модель системи у вигляді рівняння лінійної множинної регресії. Завдяки попередній перевірці вхідних параметрів моделі системи на мультиколінеарність за алгоритмом Фаррара-Глобера стало можливим виокремити серед них незалежні та знизити складність подальших розрахунків. Коефіцієнти рівняння регресії характеризують ступінь важливості врахування відповідних параметрів при проектуванні автоматизованої системи управління якістю. Для підвищення адекватності моделі та зменшення складності процесу моделювання виконано розбиття масиву вихідних даних на навчальну та контрольну вибірки за алгоритмом, що базується на розрахунку значень вибіркової дисперсії. З метою отримання найбільш адекватної моделі побудовано нелінійні моделі досліджуваної системи типу Мамдані та Сугено. Для цього застосовано пакет Matlab та його модуль Fuzzy Logic Toolbox. Функції належності вхідних та вихідного параметрів задано у трапецієвидному вигляді. Реалізацію нелінійних моделей здійснено для різних методів дефазифікації вихідного параметру. Найменша середньоквадратична похибка результуючої характеристики отримана при реалізації моделі типу Сугено та склала 1,07 %. Це свідчить про доцільність інтеграції зазначеної моделі в систему управління якістю з метою визначення оптимальних режимів роботи. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки якості наданих послуг систем автосервісу на мікро- та макрорівні*

*Ключові слова: автосервісне підприємство, рівень якості, морфологічний аналіз, лінійна множинна регресія, нечітке логічне виведення*

**1. Вступ**

Економічне зростання будь-якої країни супроводжується розвитком транспортної галузі як такої, що забезпечує належне функціонування інших галузей та сфер. В зазначений період відбувається збільшення автопарку господарських підприємств, а також рівень автомобілізації населення в цілому. Як наслідок, спосте-

рігається зростання попиту на автосервісні послуги. Все це призводить до виникнення нових та подальшого розвитку існуючих автосервісних підприємств (АСП). Конкурентоспроможність підприємств автосервісу безпосередньо залежить від повноти та якості послуг, що пропонуються власникам транспортних засобів.

Останнім часом спостерігається тенденція впровадження на підприємствах систем управління якістю (СУЯ). Такі системи повинні комплексно враховувати як параметри самого АСП так і зовнішні чинники, що впливають на якість наданих послуг. Крім того, деякі параметри неможливо точно виміряти або розрахувати, тому їм присвоюють значення якісного характеру. Все це висуває додаткові умови під час проектування та практичної реалізації систем даного виду. Автоматизація СУЯ потребує комплексного дослідження АСП на мікротамакрорівнях та неможлива без моделей, що забезпечували б достатню точність розрахунку поточного та перспективних рівнів якості технологічних процесів. Розробка методик та моделей оцінювання якості технологічних процесів дасть можливість контролювати параметри, що впливають на режими роботи підприємств та вчасно впливати на них. Це приведе до підвищення рівня якості виконуваних послуг та розвитку систем автосервісу в цілому.

Таким чином, розробка методики оцінювання якості технологічних процесів на АСП є актуальною науково-технічною задачею.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Авторами [1] було побудовано функціональну модель процесу «Контроль якості послуг» для АСП та отримано математичну залежність для розрахунку індикаторів поточного стану підприємства, які в подальшому рекомендовано використовувати для визначення оптимальної стратегії розвитку. Проте не враховано індикатор, що відповідає інформаційному забезпеченню АСП, та зовнішні чинники. Для покращення якості виконаних послуг на АСП було запропоновано використання стратегії, що спрямована на реорганізацію виробництва, зокрема раціональний вибір форми виробництва. Але не було представлено моделі та методик реалізації самого процесу оптимізації діяльності АСП. Саме тому в роботі [2] було розглянуто методик вибору оптимальної форми організації підприємства. Але залишилось невирішеним питання програмної підтримки реструктуризації автосервісного підприємства. Тому в роботі [3] було запропоновано алгоритми та комп'ютерну реалізацію оптимізації роботи АСП.

Автори наукової роботи [4] вважають, що якість автосервісних послуг залежить від навчання персоналу, розробки інноваційних послуг, використання правил спілкування з клієнтами та включають в себе діагностику роботи автомобіля, виявлення несправностей і їх усунення без згоди клієнта. Але в даній роботі не враховано технічне забезпечення підприємства, що є дуже важливим фактором, який впливає на якість послуг, що надаються. В роботі [5] також приведені результати досліджень, які доводять, що рівень якості обслуговування клієнтів на автосервісних підприємствах є важливою характеристикою, яка впливає на ефективність виробничого процесу, тобто збільшує прибутковість та підвищує коефіцієнт лояльності клієнтів. Але залишилися не вирішеними питання, пов'язані з впливом технічного забезпечення на якість виконуваних пос-

луг. Причиною можуть бути завдання авторів, що були пов'язані тільки зі споживчими критеріями. Варіантом подолання труднощів, пов'язаних з врахуванням всього спектру критеріїв, які впливають на якість, є створення загальнодоступного документу. Саме такий підхід використовувався в роботі [6]. Мета даного дослідження полягає в тому, щоб зробити доступним документ «єдиного столу», який спрямовуватиме майбутніх дослідників у галузі технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Тут було запропоновано колективно об'єднувати дослідження в галузі автосервісних послуг. Результати дослідження показали, що SERVQUAL залишається найпопулярнішим методом оцінки якості обслуговування та ремонту транспортних засобів. Автор зробив висновок, що модель, яка базується на опитуванні клієнтів про отриману послугу в ракурсі п'яти вимірювань, є основою для оцінювання послуг. Визначено перелік вимірювань: надійність, гарантія, матеріальні цінності, співчуття та відповідна реакція виробників. Але не визначено ступінь впливу кожного з вимірювань на якість виконуваних послуг. Причиною цього може бути недосконалість математичного апарату, що вирішує багатокритеріальні задачі. Варіант подолання даної проблеми представлено в науковому дослідженні [7]. Тут визначено дев'ять факторів якості та визначено їх значимість. Вважається, що ці результати можуть полегшити управління автозаправними станціями. В даній статті значущими факторами є надійність (35,74 %), спеціальні особливості (6,490 %), чуйність та симпатія (5,741 %), прозорість (відкритість роботи) (5,198 %), зорове враження (4,402 %), комфорт (4,012 %), довіра та впевненість (3,488 %), зв'язок з клієнтами (3,057 %), додатковий розмір послуг (2,803 %). Для визначення найбільш впливових факторів на якість послуг з точки зору клієнтів було використано метод факторного аналізу та Cattell «Scree».

В роботі [8] приведено результати дослідження щодо успішного функціонування автосервісних підприємств та визначено, що для вирішення даної задачі необхідно включати післяпродажні послуги до базової пропозиції товарів. Їх можна розділити на три категорії: післяпродажна економіка, вимоги користувачів та конкурентна перевага. Але це впливає тільки на збільшення асортименту послуг і не відображає спосіб впливу на підвищення якості.

Вирішення даної задачі описано в роботі [9]. В даному дослідженні визначають якість виконаних робіт як основу для економічного розвитку автосервісних підприємств. Це стосується також автосервісів гаражного типу обслуговування. В даній роботі основна думка полягає у доцільності організації сервісного обслуговування автомобілів на основі вимог клієнтів. Контроль якості являє собою головний фактор для успішного виробничого процесу автосервісів. В роботі [10] також підводять до висновку, що задоволення клієнтів після продажу автомобілів є дуже важливим для компаній, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку. Задоволеність клієнтів визначається як різниця між отриманою та очікуваною послугою. Але методика оцінювання базується на опитуванні споживачів, тому розраховані оцінки матимуть похибки, які не завжди будуть знаходитись в допустимих межах. Саме тому необхідно використовувати новітні методики оцінювання якості послуг. Вирішення даної задачі запропоновано в роботах [11–13]. Завдяки розвитку нових методик та технологій

нечіткий контроль відіграє все більш важливу роль у сучасному суспільстві. Для опису процесів управління в роботі [11] проведено огляд принципів побудови нечітких множин, нечітких правил та нечітких систем виведення. Авторами досліджено ряд нечітких методів, що використовуються при проектуванні системи керування нечіткою та онлайн нечіткою системою управління, а також нечітка система управління замкнутим циклом, включаючи таблиці пошуку.

В роботі [12] представлено метод, що базується на використанні штучних нейронних мереж в процесі оцінювання якості транспортних послуг по перевезенню молочної продукції. Практичний експеримент довів високу ефективність запропонованого методу в оцінці транспортних послуг (99 % збігів).

Під час оцінювання якості виконуваних послуг часто застосовують експертний метод, який базується на оцінці послуги за допомогою певної шкали. Використовують 5-бальні та 7-бальні шкали типу Лікерта, а також семантичні диференціальні шкали. На спотворення результату можуть впливати сприйняття шкали респондентом, а також культурні відмінності респондентів. Тому в роботі [13] було проведено дослідження щодо доцільності використання нечіткої логіки у вимірюванні сприйняття споживачів та експертів і запропоновано використання необмеженої  $n$ -вимірної шкали для оцінки якості послуг. За результатами дослідження було визначено, що люди здатні висловити свої оцінки з високою числовою точністю, самостійно визначаючи розмір шкали. Для визначення рівня якості послуг можна використовувати лінгвістичні та числові значення, але числові значення не завжди забезпечують адекватну оцінку психологічної невизначеності. Варіантом вирішення даної проблеми може бути застосування нечітких множин. Саме такий підхід застосовано в роботі [14]. Моделювання системи управління якістю є важливим етапом для керування виробничими процесами підприємства. Так, в роботі [14] було доведено, що для відображення багатокритеріальних процесів управління якістю зручно застосовувати механізм побудови правил нечітких множин, який надає можливість візуалізації впливу кожного критерію на рівень якості виробництва. Ця стаття розглядає проблему пріоритетів коригуючих дій через нечіткі множини та відповідні правила, щоб уникнути труднощів, пов'язаних із неоднозначними значеннями певних критеріїв. Підхід нечіткого управління якістю був застосований щодо основних виробничих процесів фірми, яка виробляє моторні катери. Автори [15–18] також використовують засади теорії нечітких множин для моделювання процесу управління якістю.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу джерел можна стверджувати, що не було сформовано всебічного переліку параметрів, які характеризують ефективність функціонування АСП, та не розроблено методики, які дозволяють оцінити та прогнозувати рівень якості виконуваних послуг, що є важливим для розвитку систем автосервісу. Серед прогресивних методів сучасних досліджень в даному напрямку найбільше застосування отримали методи на основі використання нечіткої логіки.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є визначення характеру впливу параметрів системи автосервісу на рівень якості технологічних процесів АСП для його оцінювання.

Це дасть можливість дослідити чутливість результуючої характеристики системи до змін її вхідних параметрів та застосовувати результати дослідження в процесі прогнозування.

#### 4. Матеріали та методи дослідження системи автосервісу

Для визначення можливих шляхів покращення якості виконання технологічних процесів на АСП було застосовано метод морфологічного аналізу [19]. Даний метод дозволяє систематизувати дані, що характеризують досліджувану систему, та провести аналіз її можливих конфігурацій. Для кожної з 19 морфологічних ознак системи визначено варіанти їх реалізації. Морфологічні ознаки системи автосервісу, варіанти реалізації ознак та їх можливі значення наведено в табл. 1, 2.

1. Вид АСП	2. Потужність АСП (кількість постів)	3. Рівень забезпеченості площами	4. Рівень забезпеченості технологічним обладнанням	5. Рівень забезпеченості персоналом	6. Рівень забезпеченості матеріальними ресурсами	7. Рівень інформаційного забезпечення	8. Рівень екологічної безпеки	9. Форма організації виробництва
1.1. Пункт ТО 1	2.1. 1-2 1	3.1. Дуже низький 0–0,4	4.1. Низький 0–0,6	5.1. Дуже низький 0–0,4	6.1. Дуже низький 0–0,4	7.1. Дуже низький 0–0,4	8.1. Особливо небезпечні 0–0,2	9.1. Постова з універсальним обладнанням 1
1.2. Авторемонтна майстерня 2	2.2. 3-4 2			5.2. Низький 0,4–0,6			8.2. Небезпечний 0,2–0,37	
1.3. СТО 3	2.3. 5-6 3	3.2. Низький 0,4–0,6	4.2. Середній 0,6–0,8	5.3. Середній 0,6–0,8	6.2. Низький 0,4–0,6	7.2. Низький 0,4–0,6	8.3. Середньо безпечний 0,37–0,63	9.2. Постова зі спеціалізованим обладнанням 2
1.4. Авторизована СТО 4	2.4. 7-8 4							
1.5. Спеціалі-	2.5. 9-10 5	3.3. Середній 0,6–0,8	4.3. Високий 0,8–1	5.4. Високий 0,8–1	6.3. Середній 0,6–0,8	7.3. Середній 0,6–0,8	8.4. Безпечний 0,63–0,8	

зоване 5								
1.6. Комплексне 6	2.6. 11-12 6	3.4. Високий 0,8–1	4.4. Надлишковий >1	5.5. Надлишковий >1	6.4. Високий 0,8–1	7.4. Високий 0,8–1	8.5. Цілком безпечний 0,8–1	9.3. Дільнично-постова 3
	2.7. >12 7							9.4. Індивідуальна 4

Таблиця 2

Результати морфологічного аналізу системи автосервісу для функціональних елементів «Автомобілі» та «Середовище»

Автомобілі			Середовище						
10. Повна маса автомобіля, т	11. Тип енергетичних установок	12. Вік автомобіля	13. Місце локації, тис. чол.	14. Щільність населення, чол./км кв.	15. Рівень автомобілізації, авт./1000 мешканців	16. Насиченість потужностями, кількість постів/км кв.	17. Рівень логістичного потенціалу	18. Коефіцієнт лояльності	19. Рівень доходу власників ТЗ
10.1. До 3,5 1	11.1. Бензинові & дизельні 1	12.1. До 3 років 1	13.1. Малі НП <50	14.1. Низька <500	15.1. Низький <200	16.1. Недостатня <5	17.1. Низький 0–0,4	18.1. Низький 0–0,4	19.1. Низький & середній 1
10.2. До 7,5 2	11.2. Газобалонні 2	12.2. До 15 років 2	13.2. Середні НП 50–250	14.2. Середня 500–1000	15.2. Середній 200–300	16.2. Середня 5–10	17.2. Середній 0,4–0,6	18.2. Середній 0,4–0,6	19.2. Середній 2
	11.3. Електричні & гібридні 3		13.3. Великі НП 250–500	14.3. Висока 1000–4000			17.3. Високий 0,6–0,8	18.3. Високий 0,6–0,8	19.3. Середній & високий 3
10.3. Незалежно від маси 3	11.4. ДВЗ & електричні & гібридні 4	12.3. Незалежно від віку 3	13.4. Значні (крупні) НП 500–1000	14.4. Дуже висока > 4000	15.3. Високий > 300	16.3. Висока >10	17.4. Дуже високий 0,8–1	18.4. Дуже високий 0,8–1	19.4. Високий 4
			13.5. Найзначніші >1000						19.5. Низький & середній & високий 5

В табл. 1, 2 прийнято наступні скорочення: ТО – технічне обслуговування; СТО – станція технічного обслуговування; ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; НП – населений пункт.

Сполучення різних варіантів  $x_{ij}$  реалізації морфологічних ознак  $X_j$ , де  $i$  – номер варіанту реалізації  $j$ -ї ознаки в табл. 1, 2, визначають можливі стани (структури) системи автосервісу.

Кількість можливих станів системи визначається за формулою:

$$N = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

де  $K_i$  – кількість можливих варіантів реалізації  $i$ -ї ознаки;  $n$  – кількість ознак.

Таким чином, кількість можливих станів досліджуваної системи складає

$$N = 6 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 = 5,57384 \cdot 10^{11}.$$

Розглянутий метод дозволяє аналізувати конфігурації системи, що є перспективними для конкретного АСП, з метою вибору найкращої стратегії подальшого розвитку. Проте недоцільно розглядати стани системи, що містять несутимісні значення ознак. До того ж, аналіз отриманої кількості варіантів системи є неекономічним за ресурсами часу.

В межах даного дослідження було проведено обстеження 28 типових для України систем автосервісу. В табл. 3, 4 наведено кількісні показники морфологічних ознак основних функціональних елементів цих систем.

Таблиця 3

Значення морфологічних ознак досліджуваних систем автосервісу для функціонального елемента «АСП»

№ АСП	Назва АСП	Вид АСП	Потужність АСП (кількість постів)	Рівень забезпеченості площами	Рівень забезпеченості технологічним обладнанням	Рівень забезпеченості персоналом	Рівень забезпеченості матеріальними ресурсами	Рівень інформаційного забезпечення	Рівень екологічності безпечки	Форма організації виробництва	Рівень якості технологічних процесів
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	K <sub>я</sub>
1	JWT Service, м. Черкаси	2	2	0,62	1,5	2,42	0,8	0,3	0,4	4	0,92
2	АТЛ Автосервіс, м. Черкаси	3	4	0,59	0,97	1,44	0,7	0,8	0,5	1	0,8

Продовження Таблиці 3

3	ТОВ «Боярд і К», м. Черкаси	3	1	0,35	0,76	0,4	0	0,2	0,1	4	0,42
4	КОЛОС-АВТО, м. Черкаси	6	3	0,85	0,93	1,9	0,52	0,8	0,7	3	0,83
5	ТОВ «Бурос», м. Черкаси	4	5	0,72	0,95	0,86	0,6	0,85	0,9	3	0,79
6	ДП «ЧАРЗ-АВТО», м. Черкаси	4	2	0,41	0,92	1,14	0,4	0,5	0,8	3	0,74
7	ПАТ «Черкаси-АВТО», м. Черкаси	4	7	0,84	0,79	1,79	0,65	0,75	0,8	3	0,73
8	V12, м. Золотоноша, Черкаська обл.	3	2	0,21	0,69	0,67	0,4	0,35	0,3	1	0,38
9	«Авторейка», м. Черкаси	5	4	0,65	0,98	0,61	0,7	0,75	0,5	2	0,68
10	Автомийка самообслуговування «Шампунь», м. Черкаси	1	3	0,68	1	1,21	1	0,65	0,3	2	0,93
11	OILER Деміївка, м. Київ	6	5	0,72	0,97	0,92	0,74	0,8	0,7	3	0,72
12	ТОВ «Дніпромотор», м. Дніпро	4	3	0,3	0,83	0,72	0,28	0,6	0,7	1	0,64
13	«СТО-35 км», м. Бориспіль	6	3	0,35	0,49	0,58	0,25	0,45	0,5	1	0,37
14	Шиномонтаж мобільний, м. Київ	1	1	0,17	0,9	0,63	0,53	0,35	0,3	4	0,81
15	ПП «Гараж», м. Черкаси	2	1	0,1	0,43	0,51	0,53	0,1	0,2	4	0,2
16	«РИВЬЕРА», с. Костянтинівка, Смілянський р-н, Черкаська обл.	6	1	0,3	0,58	0,76	0,18	0,4	0,3	1	0,45
17	Шиномонтаж (Чорновола, 10), м. Черкаси	1	1	0,21	0,8	0,8	0,36	0,2	0,2	2	0,53
18	Garant Auto Technic, м. Київ	4	6	0,82	0,98	1,7	0,72	1	0,9	3	0,91
19	ФОП «Ольвія», м. Черкаси	2	1	0,44	0,68	0,77	0,35	0,3	0,5	3	0,6
20	Автомийка «НЕПТУН», м. Черкаси	1	3	0,7	0,9	0,85	0,8	0,55	0,5	2	0,76



Продовження Таблиці 3

21	Шиномонтаж «Шипшина», м. Черкаси	1	1	0,3	0,78	0,7	0,35	0,5	0,4	2	0,38
22	Шиномонтаж «Твоя шина», м. Черкаси	1	2	0,55	0,8	0,82	0,68	0,6	0,5	2	0,71
23	«Інтер Дизель», м Хмельницький	5	2	0,71	1,1	0,94	0,81	0,8	0,7	3	0,84
24	«Мотор-Газ», м. Київ	5	5	0,78	0,99	1,05	0,75	0,7	0,7	3	0,89
25	VipGaz, м. Київ	5	7	0,72	1	1	0,81	0,9	0,8	3	0,91
26	Tesla Service, м. Київ	4	4	0,82	0,97	1,07	0,87	0,85	1	3	0,9
27	ПП Горобець, с. Руська Поляна, Черкаський р-н	2	1	0,32	0,4	0,5	0,2	0,1	0,1	4	0,57
28	ФОП Овчаренко С. С., с. Леськи, Черкаський р-н	2	2	0,34	0,63	0,55	0	0,2	0,5	1	0,7

Таблиця 4

Значення морфологічних ознак досліджуваних систем автосервісу для функціональних елементів «Автомобілі» та «Середовище»

№ АСП	Назва АСП	Автомобілі				Середовище					
		Повна маса автомобіля	Тип енергетичних установок	Вік автомобіля	Місцевість	Щільність населення	Рівень автомобілізації	Навичка потужності	Рівень логістичного потенціалу	Коефіцієнт лояльності	Рівень доходу власників ТЗ
		X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>
1	JWT Service, м. Черкаси	1	1	2	3	4	2	3	0,67	0,75	4
2	АТЛ Автосервіс, м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,7	0,8	3
3	ТОВ «Боярд і К», м. Черкаси	1	1	3	3	4	2	3	0,38	0,6	1
4	КОЛОС-АВТО, м. Черкаси	2	4	1	3	4	2	3	0,66	0,7	3
5	ТОВ «Бурос», м. Черкаси	2	4	1	3	4	2	3	0,68	0,85	3

Продовження Таблиці 4

6	ДП «ЧАРЗ-АВТО», м. Черкаси	3	1	3	3	4	2	3	0,6	0,3	3
7	ПАТ «Черкаси-АВТО», м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,65	0,45	3
8	V12, м. Золотоноша, Черкаська обл.	2	1	3	1	3	1	1	0,62	0,5	1
9	«Авторейка», м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,66	0,7	3
10	Автомийка самообслуговування «Шампунь», м. Черкаси	3	4	3	3	4	2	3	0,7	0,9	1
11	OILER Демі-ївка, м. Київ	2	4	2	5	3	3	3	0,68	0,72	3
12	ТОВ «Дніпромотор», м. Дніпро	2	4	2	4	3	2	3	0,55	0,42	3
13	«СТО-35 км», м. Бориспіль	2	4	3	2	3	1	1	0,57	0,38	5
14	Шиномон-таж мобільний, м. Київ	2	4	3	5	3	3	3	0,72	0,81	3
15	ПП «Гараж», м. Черкаси	2	1	3	3	4	2	3	0,4	0,25	1
16	«РИВЬЕРА», с. Костянтинівка, Смілянський р-н, Черкаська обл.	2	1	3	2	3	1	1	0,54	0,32	5
17	Шиномон-таж (Чорновола, 10), м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,66	0,43	1
18	Garant Auto Technic, м. Київ	2	4	2	5	3	3	3	0,81	0,9	4
19	ФОП «Ольвія», м. Черкаси	3	1	2	3	4	2	3	0,59	0,7	2
20	Автомийка «НЕПТУН», м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,65	0,82	3

Продовження Таблиці 4

21	Шиномонтаж «Шипшина», м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,67	0,4	2
22	Шиномонтаж «Твоя шина», м. Черкаси	2	4	3	3	4	2	3	0,74	0,7	3
23	«Інтер Дизель», м. Хмельницький	3	1	2	3	3	3	2	0,65	0,86	2
24	«Мотор-Газ», м. Київ	2	2	2	5	3	3	3	0,62	0,82	1
25	VipGaz, м. Київ	2	2	2	5	3	3	3	0,7	0,84	1
26	Tesla Service, м. Київ	1	3	2	5	3	3	3	0,75	0,87	4
27	ППП Горобець, с. Руська Поляна, Черкаський р-н	1	1	3	1	1	3	1	0,43	0,6	1
28	ФОП Овчаренко С. С., с. Леськи, Черкаський р-н	2	1	2	1	2	2	1	0,34	0,8	3

Прикладом морфологічної формули, що задає один з можливих станів системи, є формула (2), яку отримано для автомайстерні «JWT Service», м. Черкаси (Україна), що займається обслуговуванням та ремонтом спортивних автомобілів:

$$\left[ \begin{aligned} &(x_{12}; x_{22}; x_{33}; x_{44}; x_{55}; x_{64}; x_{71}; x_{83}; x_{94}) + \\ &+ (x_{101}; x_{111}; x_{122}) + \\ &+ (x_{133}; x_{144}; x_{152}; x_{163}; x_{173}; x_{183}; x_{194}) \end{aligned} \right]. \quad (2)$$

З метою дослідження характеру впливу визначених морфологічних ознак системи на результат її функціонування побудуємо математичну модель даної системи. Для цього необхідно здійснити структурну, а за можливістю і параметричну, ідентифікацію (специфікацію) моделі (3).

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (3)$$

де  $Y$  – результуючий параметр моделі;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – вектор вхідних параметрів;  $n$  – кількість параметрів.

Параметри моделі однозначно відповідають морфологічним ознакам досліджуваної системи. В якості вихідної інформації для моделі використано результати обстеження АСП та їх оточення (табл. 3, 4).

Кількісні параметри функціонального елементу «АСП» є комплексними показниками, структура яких наведена авторами в роботі [20].

Структурні компоненти параметрів  $X_3$ – $X_6$  розраховуються як відношення фактичних значень до нормативних. Методика розрахунку відповідних нормативних значень наведено в [21].

Рівень інформаційного забезпечення  $X_7$  є інтегральним показником наступних характеристик:

- наявність нормативної та технологічної документації;
- реалізація маркетингової діяльності (реклама, сповіщення клієнтів про акції та ін.);
- наявність автоматизованої системи управління;
- наявність інформаційної підтримки післяпродажного сервісу (анкети та ін.);
- наявність сайту.

Виходячи з якісного наповнення контенту, числове значення кожної складової приймається в межах 0–0,2.

$X_8$  визначається за методикою оцінювання рівня екологічної безпеки, що досліджено в [22], на основі десяти критеріїв оцінювання джерел шкідливого впливу підприємства.

Якісні параметри системи  $X_1, X_2, X_9$ – $X_{12}, X_{19}$  визначаються за даними анкетування, що було проведено в процесі обстеження АСП, а параметри  $X_{13}$ – $X_{16}$  – на основі статистичної інформації, наданої обласними службами управління статистики.

Послідовність оцінки рівня логістичного потенціалу  $X_{17}$  наведено в роботі [23]. А коефіцієнт лояльності  $X_{18}$  розраховується як частка схвальних оцінок клієнтів в загальній кількості наданих послуг.

Результуючим параметром системи автосервісу виступає рівень якості технологічних процесів АСП  $K_{\text{я}}$ . Даний параметр є комплексним показником, для розрахунку якого пропонуються формули (4)–(6):

$$K_{\text{я}} = \alpha K_{\text{ВТК}} + (1 - \alpha) K_{\text{СП}}, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – частка робіт, якість виконання яких оцінюється відділом технічного контролю (ВТК).

$$K_{\text{ВТК}} = \min(K_{\text{ВТК}}^i), \quad (5)$$

$$K_{\text{СП}} = \min(K_{\text{СП}}^j), \quad (6)$$

де  $K_{\text{ВТК}}^i$  – показник рівня якості  $i$ -ї роботи, що виконано відповідно до вимог нормативно-технічної документації і було здано до ВТК;  $K_{\text{СП}}^j$  – коефіцієнт схвальних оцінок замовників (споживачів)  $j$ -ї роботи (послуги).

Методику розрахунку  $K_{\text{ВТК}}^i$  та  $K_{\text{СП}}^j$  наведено в [24].

Залежність (3) може бути як лінійною, так і нелінійною. Для отримання найбільш адекватної залежності необхідно побудувати моделі для першого та другого випадків і виконати їх порівняльний аналіз.

#### 4. 2. Визначення набору незалежних параметрів системи

Одним із способів отримання математичної моделі системи є її представлення у вигляді лінійної множинної регресії (7):

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість параметрів, які буде враховано;  $a_i$  – невідомі коефіцієнти.

Для отримання адекватної моделі необхідно виконати препроцесінг масиву вхідних даних – результатів дослідження типових систем автосервісу. Побудова моделей типу (7) здійснюється з використанням методу найменших квадратів. Ефективне та адекватне застосування методу найменших квадратів пов’язано із використанням в моделі (7) незалежних параметрів. Для їх визначення використаємо алгоритм Фаррара-Глобера [25, 26]. Зазначений алгоритм дозволяє виявити три види кореляційного взаємозв’язку між параметрами системи на основі використання статистичних критеріїв. Зокрема, перевіряється наявність мультиколінеарності у всьому масиві вхідних даних та кожного параметру з усіма, а також наявність лінійної залежності між кожною парою параметрів. Залежні змінні вилучаються із подальшого розгляду. Зауважимо, що процедура вилучення є суб’єктивізованою і єдиним критерієм її ефективності є відсутність мультиколінеарності у новому (скороченому) наборі вхідних параметрів. Наведемо детальний опис виконання I ітерації алгоритму (кроки 1–7).

*Крок 1.* Нормуємо та центруємо значення параметрів за формулою (8):

$$x_{ik}^H = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{\delta_k}, \quad 1 \leq k \leq 19, 1 \leq i \leq 28, \quad (8)$$

де  $x_{ik}^H$  – нормоване значення  $k$ -го параметру  $i$ -го АСП;  $x_{ik}$  – початкове значення  $k$ -го параметру  $i$ -го АСП;  $\bar{x}_k$  – середнє значення  $k$ -го параметру;  $\delta_k$  – дисперсія  $k$ -го параметру.

*Крок 2.* Знаходимо вибірккову кореляційну матрицю:

$$\hat{R} = \frac{1}{n} (X^H)^T X^H, \quad (9)$$

де  $n$  – кількість АСП,  $n=28$ .

Крок 3. Розраховуємо значення критерію Пірсона  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = -\left(n - 1 - \frac{1}{6}(2m + 5)\right) \ln |\hat{R}|, \quad (10)$$

де  $m$  – кількість вхідних параметрів;  $n$  – кількість спостережень.

Порівнюємо його з табличним значенням при  $\frac{1}{2}m(m-1)=171$  ступенях свободи і рівні значущості  $\alpha$ . Якщо  $\chi^2 > \chi_{tabl}^2$ , то у векторі вхідних факторів є мультиколінеарність.

При  $m=19$ ,  $n=28$ ,  $\alpha=0,05$  отримано наступне значення критерію:

$$\chi^2 = -\left(28 - 1 - \frac{1}{6}(2 \cdot 19 + 5)\right) \ln(4 \cdot 10^{-10}) = 430,11.$$

Оскільки  $\chi^2 > \chi_{tabl}^2(171; 0,05) = 202,513$ , то мультиколінеарність у масиві вхідних змінних наявна.

Крок 4. Визначаємо обернену матрицю  $D = \hat{R}^{-1}$ .

Крок 5. Обчислюємо значення  $F$ -критерію Фішера для  $k$ -го параметру за формулою (11):

$$F_k = |d_{kk} - 1| \frac{n - m}{m - 1}, \quad (11)$$

де  $d_{kk}$  – діагональні елементи матриці  $D$ ,  $1 \leq k \leq 19$ ;  $n$  – кількість АСП,  $n=28$ ;  $m$  – кількість вхідних параметрів системи,  $m=19$ .

Розраховані значення критерію  $F_k$  (табл. 5) порівнюються з табличними при  $(n-m)=9$  та  $(m-1)=18$  ступенях свободи і рівні значущості  $\alpha=0,05$ .

Таблиця 5

Значення критерію Фішера для  $k$ -го параметру на I ітерації алгоритму

$F_k$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$	$F_{17}$	$F_{18}$	$F_{19}$
Значення	<b>4,6</b>	<b>3,3</b>	<b>6,5</b>	2,4	2,3	2,0	<b>10,4</b>	<b>5,9</b>	2,4	0,5	1,8	2,2	<b>5,6</b>	<b>10,5</b>	<b>10,4</b>	<b>14,8</b>	<b>3,6</b>	<b>4,7</b>	1,7

Табличне значення  $F_{tabl}(0,05; 9; 18) = 2,96$ . Якщо для  $k$ -го параметру  $F_k > F_{tabl}$  (в табл. 5 виділено жирним), то даний параметр вважається мультиколінеарним з іншими. Вочевидь, що мультиколінеарними з іншими є параметри  $X_3$ ,  $X_7$ – $X_8$ ,  $X_{13}$ – $X_{16}$ ,  $X_{18}$ .

Крок 6. Знаходимо вибірккові часткові коефіцієнти кореляції:

$$\hat{P}_{kj} = \frac{-d_{kj}}{\sqrt{d_{kk} \cdot d_{jj}}}, 1 \leq k \leq 19, 1 \leq j \leq 19. \quad (12)$$

Крок 7. Обчислюємо значення  $t$ -критерію Ст'юдента за формулою (13):

$$t_{kj} = \frac{\hat{P}_{kj} \sqrt{n-m}}{\sqrt{1-\hat{P}_{kj}^2}}. \quad (13)$$

Результати розрахунків  $t_{kj}$  наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Значення  $t$ -критерію Ст'юдента  $t_{kj}$  на I ітерації

$X_j \backslash X_k$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$
$X_1$	0	0,47	1,49	1,36	1,11	0,70	<b>2,33</b>	1,52	0,81	0,54	0,38	1,64	<b>1,91</b>	0,23	0,23	1,60	1,12	<b>3,05</b>	0,77
$X_2$	0,47	0	0,21	0,43	1,31	0,35	0,52	1,77	0,66	0,57	1,15	1,63	0,90	0,80	1,40	0,12	1,00	0,88	<b>2,07</b>
$X_3$	1,49	0,21	0	0,99	1,72	1,04	0,20	0,99	0,06	0,83	0,25	0,67	1,24	0,58	0,55	0,29	0,33	<b>2,15</b>	0,19
$X_4$	1,36	0,43	0,99	0	1,75	0,76	0,58	0,57	1,04	0,91	0,70	0,38	0,56	0,39	0,47	0,67	0,69	1,72	0,12
$X_5$	1,11	1,31	1,72	1,75	0	0,22	0,04	1,56	0,27	0,62	0,91	1,57	0,37	0,44	0,07	0,25	0,91	<b>2,07</b>	1,59
$X_6$	0,70	0,35	1,04	0,76	0,22	0	0,32	0,39	0,34	0,59	0,23	0,26	0,60	0,19	0,03	0,44	0,68	0,28	0,20
$X_7$	<b>2,33</b>	0,52	0,20	0,58	0,04	0,32	0	1,19	1,37	0,07	0,44	0,51	0,78	0,33	0,69	0,48	1,66	0,99	0,36
$X_8$	1,52	1,77	0,99	0,57	1,56	0,39	1,19	0	0,38	0,91	1,58	<b>3,03</b>	0,09	0,04	0,63	0,06	0,40	<b>2,34</b>	<b>2,72</b>
$X_9$	0,81	0,66	0,06	1,04	0,27	0,34	1,37	0,38	0	1,01	1,05	0,68	0,71	1,31	<b>2,69</b>	0,09	0,84	0,08	0,56
$X_{10}$	0,54	0,57	0,83	0,91	0,62	0,59	0,07	0,91	1,01	0	0,11	0,25	0,17	1,18	0,80	0,48	0,04	0,52	0,76
$X_{11}$	0,38	1,15	0,25	0,70	0,91	0,23	0,44	1,58	1,05	0,11	0	0,09	0,05	0,02	0,02	0,05	0,11	0,04	0,17

Продовження Таблиці 6

$X_{12}$	– 1, 64	1, 63	0, 67	0, 38	– 1, 57	0, 26	0, 51	– 3, 03	– 0, 68	0, 25	– 0, 09	0	0, 03	0, 66	1, 06	– 0, 60	0, 38	– 2, 67	1, 78
$X_{13}$	1, 91	0, 90	– 1, 24	– 0, 56	– 0, 37	0, 60	– 0, 78	– 0, 09	– 0, 71	– 0, 17	– 0, 05	0, 03	0	– 0, 52	0, 77	2, 47	1, 68	0, 70	1, 03
$X_{14}$	0, 23	– 0, 80	0, 58	0, 39	– 0, 44	0, 19	0, 33	– 0, 04	1, 31	1, 18	– 0, 02	0, 66	0, 52	0	– 4, 07	3, 56	0, 41	0, 20	– 0, 11
$X_{15}$	– 0, 23	– 1, 40	0, 55	0, 47	– 0, 07	0, 03	0, 69	0, 63	2, 69	0, 80	0, 02	1, 06	0, 77	– 4, 07	0	1, 32	– 0, 38	0, 55	– 1, 05
$X_{16}$	– 1, 60	0, 12	0, 29	0, 67	0, 25	– 0, 44	0, 48	0, 06	0, 09	– 0, 48	0, 05	– 0, 60	2, 47	3, 56	1, 32	0	– 1, 37	– 0, 95	– 0, 54
$X_{17}$	– 1, 12	– 1, 00	– 0, 33	0, 69	0, 91	0, 68	1, 66	0, 40	0, 84	0, 04	0, 11	0, 38	1, 68	0, 41	– 0, 38	– 1, 37	0	– 0, 12	– 0, 50
$X_{18}$	– 3, 05	0, 88	2, 15	1, 72	– 2, 07	– 0, 28	0, 99	– 2, 34	– 0, 08	0, 52	– 0, 04	– 2, 67	0, 70	0, 20	0, 55	– 0, 95	– 0, 12	0	1, 19
$X_{19}$	0, 77	– 2, 07	– 0, 19	– 0, 12	1, 59	– 0, 20	– 0, 36	2, 72	0, 56	– 0, 76	0, 17	1, 78	1, 03	– 0, 11	– 1, 05	– 0, 54	– 0, 50	1, 19	0

Розраховані значення  $t_{kj}$  порівнюються з табличним при  $(n-m)=9$  ступенях свободи та рівні значущості  $\alpha=0,05$ . Якщо  $|t_{kj}| > t_{tabl}(0,05;9)=1,833$ , то між  $X_k$  та  $X_j$  існує мультиколінеарність. У табл. 6 значення, що за модулем перевищують табличне, виділено жирним.

Для кожного стовпця табл. 6 знаходимо суми  $S_j$  значень критеріїв Стюдента  $t_{kj}$ , які за модулем перевищують табличне значення (табл. 7.):

$$S_j = \sum_{k=1}^{19} |t_{kj}|, \text{ якщо } |t_{kj}| > t_{tabl}, \quad k = \overline{1,19} \quad (14)$$

Таблиця 7

Суми абсолютних значень  $t$ -критерію  $S_j$ , що перевищують  $t_{tabl}$ , на I ітерації

Параметр	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$
$S_j$	7,29	2,07	2,15	0	2,07	0	2,33	8,10	2,69	0	0	5,70	4,39	7,63	6,76	6,04	0	12,28	4,79

Суми впорядковуємо за спаданням.

Враховуючи значення  $F_k$ ,  $k = \overline{1,19}$  (табл. 5), з подальшого розгляду вилучаємо входні параметри, яким відповідає найбільша сума  $S_j$ :  $X_8$ ,  $X_{14}$ ,  $X_{18}$ .

Далі необхідно перевірити на мультиколінеарність новий масив входних даних:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$ ,  $X_9$ ,  $X_{10}$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{15}$ ,  $X_{16}$ ,  $X_{17}$ ,  $X_{19}$ .



Повторюємо кроки 1–7 для наступних ітерацій алгоритму. На V ітерації значення критерію Пірсона дорівнює

$$\chi^2 = -\left(28 - 1 - \frac{1}{6}(2 \times 7 + 5)\right) \ln(3,06 \times 10^{-1}) = 28,224.$$

$$\chi^2 < \chi_{tabl}^2(21, 0,05) = 32,67 \text{ при}$$

$$\frac{1}{2} \times m(m-1) = \frac{1}{2} \times 7(7-1) = 21$$

ступенях свободи і рівні значущості 0,05. Тому робимо висновок про відсутність мультиколінеарності у відкоригованому масиві вхідних змінних, який складається з наступних параметрів:  $X_2, X_5, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{19}$ . На цьому виконання алгоритму завершено.

#### 4. 3. Побудова моделі системи у вигляді рівняння множинної лінійної регресії

Для побудови лінійної моделі системи автосервісу необхідно визначити коефіцієнти рівняння множинної регресії (15):

$$K_{\text{я}} = a_0 + a_2 X_2 + a_5 X_5 + a_9 X_9 + a_{10} X_{10} + a_{11} X_{11} + a_{12} X_{12} + a_{19} X_{19}. \quad (15)$$

Коефіцієнти моделі (15) визначаються за формулою [25, 26]:

$$A = (a_0, a_2, a_5, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{19}) = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot K_{\text{я}}, \quad (16)$$

де  $X$  – матриця, що складається з векторів-стовпців незалежних параметрів, визначених на останній ітерації алгоритму Фаррара-Глобера;  $K_{\text{я}}$  – вектор-стовпець рівнів якості виконаних послуг на кожному АСП (табл. 3).

Таким чином, отримаємо наступну модель:

$$K_{\text{я}} = 0,3935 + 0,0308 \cdot X_2 + 0,1554 \cdot X_5 + 0,0288 \cdot X_9 + 0,05691 \cdot X_{10} + 0,0128 \cdot X_{11} - 0,071 \cdot X_{12} + 0,0009 \cdot X_{19}. \quad (17)$$

Середньоквадратичне відхилення модельних значень від табличних розраховується за формулою

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_{\text{я} \text{ tabl}}^i - K_{\text{я} \text{ model}}^i)^2, \quad (18)$$

де  $n$  – кількість АСП у вибірці;  $i$  – індекс АСП в масиві вихідних даних;  $K_{Я\,табл}^i$ ,  $K_{Я\,модель}^i$  – відповідно табличне та модельне значення коефіцієнту якості технологічних процесів на  $i$ -му АСП.

Для розрахунку відносного середньоквадратичного відхилення використано формулу

$$\bar{S}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(K_{Я\,табл}^i - K_{Я\,модель}^i)^2}{(K_{Я\,табл}^i)^2} \cdot 100 \%. \quad (19)$$

При реалізації моделі на початковій вибірці  $\bar{\sigma} = 0,0172$ ,  $\bar{S}_r = 13,6 \%$ .

Графічне відображення результатів моделювання представлено на рис. 1 та рис. 2.

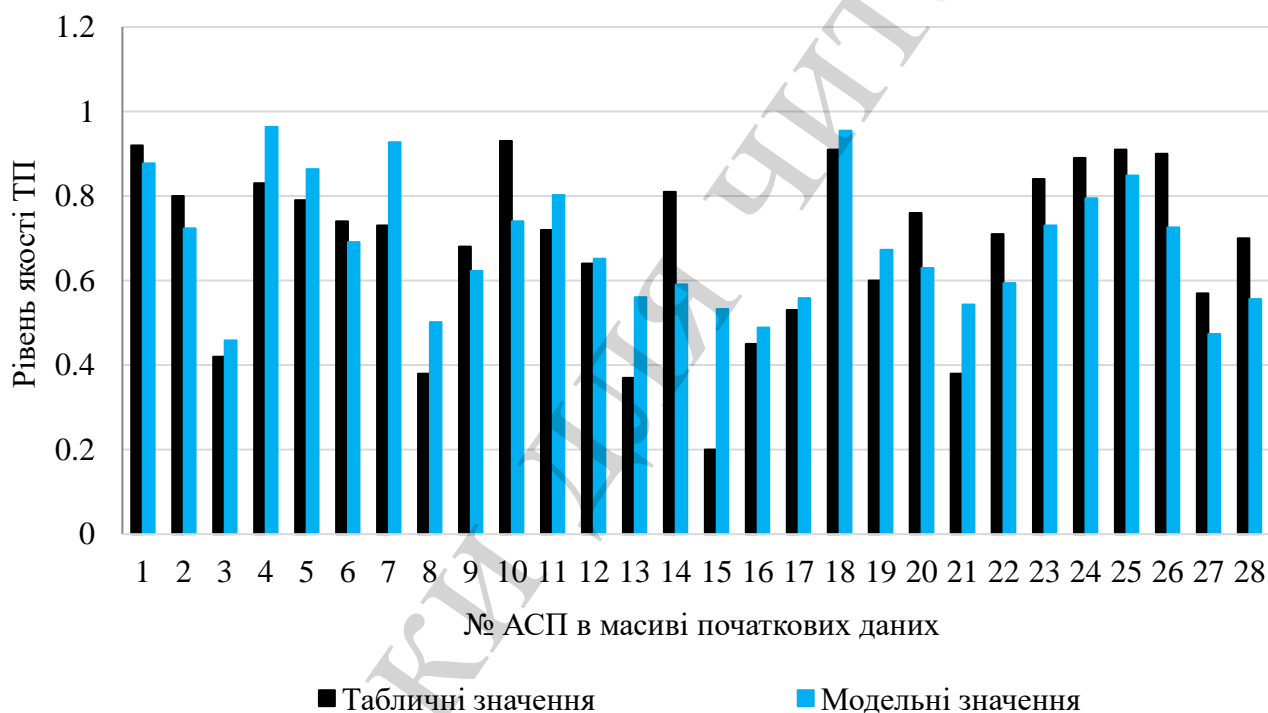


Рис. 1. Порівняння табличних та модельних значень рівня якості технологічних процесів (ТП) при побудові лінійної моделі

Отримана модель має велику похибку та не може бути застосована для малих авторемонтних майстерень гаражного типу.

Згідно із загальними положеннями теорії експерименту, вихідні дані, як правило, розподіляють на навчальну та контрольну вибірки. Алгоритми, що реалізують моделі, які побудовано на навчальній вибірці, більш адекватні до реальних задач ніж ті, що побудовано на більшому наборі даних. Навчальна вибірка складає 75–80 % від початкової. Будемо використовувати алгоритм, за яким в навчальну послідовність потрапляють результати спостережень з більшим

значенням вибіркової дисперсії, так як даний підхід є найбільш поширеним [25]. Етапи виконання алгоритму є такими.

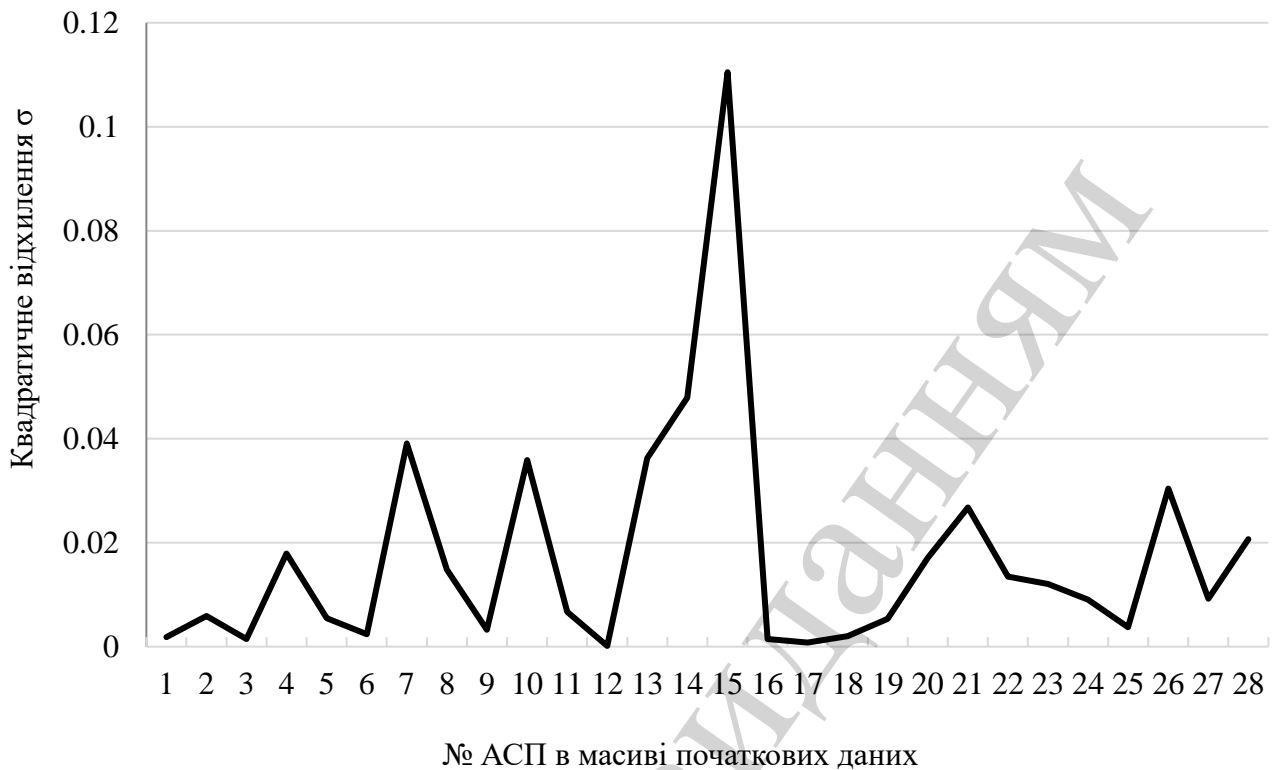


Рис. 2. Похибка лінійної моделі, що побудовано на початковій вибірці

*Крок 1.* Приймаємо співвідношення між кількістю АСП у навчальній і контрольній вибірках як 80/20. Відповідно до нього навчальна вибірка буде містити 22 підприємства, контрольна – 6.

*Крок 2.* Для кожного вектору  $X_j$  розраховуємо середнє значення його елементів (табл. 8) за формулою:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{28} \sum_{i=1}^{28} x_{ij}, \quad j = 1, 7. \quad (20)$$

Таблиця 8  
Результати розбиття початкової вибірки

$i$	Назва АСП	$X_2$	$X_5$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{19}$	Вибіркова дисперсія, $D_i$
1	JWT Service	2	2,42	4	1	1	2	4	1,90778
2	АТЛ Автосервіс	4	1,44	1	2	4	3	3	0,95307
3	ТОВ «Боярд і К»	1	0,4	4	1	1	3	1	2,16274
4	КОЛОС-АВТО	3	1,9	3	2	4	1	3	0,8453
5	ТОВ «Бурос»	5	0,86	3	2	4	1	3	1,41931
6	ДП «ЧАРЗ-	2	1,14	3	3	1	3	3	0,93351

	АВТО»								
7	ПАТ «Черкаси-АВТО»	7	1,79	3	2	4	3	3	3,24198
8	V12.	2	0,67	1	2	1	3	1	1,51597
9	«Авторейка»	4	0,61	2	2	4	3	3	0,5941
10	Автомийка са-мообслуговування «Шампунь»	3	1,21	2	3	4	3	1	0,93817
11	OILER Деміївка	5	0,92	3	2	4	2	3	1,08427
12	ТОВ «Дніпромотор»	3	0,72	1	2	4	2	3	0,73748
13	«СТО-35 км»	3	0,58	1	2	4	3	5	1,70505
14	«Шиномонтаж мобільний»	1	0,63	4	2	4	3	3	1,32983
15	ПП «Гараж»	1	0,51	4	2	1	3	1	1,97699
16	«РИВЬЕРА»	1	0,76	1	2	1	3	5	2,55577
17	Шиномонтаж (Чорновола, 10)	1	0,8	2	2	4	3	1	1,3865
18	Garant Auto Technic	6	1,7	3	2	4	2	4	2,33794
19	ФОП «Ольвія»	1	0,77	3	3	1	2	2	1,43603
20	Автомийка «НЕПТУН»	3	0,85	2	2	4	3	3	0,384
21	Шиномонтаж «Шипшина»	1	0,7	2	2	4	3	2	1,03687
22	Шиномонтаж «Твоя шина»	2	0,82	2	2	4	3	3	0,52826
23	«Інтер Дизель»	2	0,94	3	3	1	2	2	0,95301
24	«Мотор-Газ»	5	1,05	3	2	2	2	1	1,29897
25	VipGaz	7	1	3	2	2	2	1	3,34576
26	Tesla Service	4	1,07	3	1	3	2	4	0,78763
27	ПП Горобець	1	0,5	4	1	1	3	1	2,14523
28	ФОП Овчаренко С. С.	2	0,55	1	2	1	2	3	1,14963
	$\bar{x}_j$	2,929	0,975	2,536	2	2,75	2,5	2,571	

Крок 3. Визначаємо вибірові дисперсії для  $i$ -го АСП (табл. 8):

$$D_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^7 (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \quad i = \overline{1, 28}. \quad (21)$$

Крок 4. Впорядковуємо табл. 8 за спаданням значень вибіркової дисперсії.

Крок 5. Виконуємо розбиття масиву початкових даних. Наступні АСП з початкової вибірки мають найменші значення вибіркової дисперсії: «КОЛОС-АВТО» (м. Черкаси), спеціалізоване АСП «Авторейка» (м. Черкаси), ТОВ «Дніпромотор» (м. Дніпро), автомийка «НЕПТУН» (м. Черкаси), шиномонтаж «Твоя шина» (м. Черкаси) та «Tesla Service» (м. Київ). Зазначені АСП складуть контрольну вибірку (в табл. 8 виділені іншим кольором), всі інші – навчальну.

На навчальній вибірці отримано наступну модель:

$$K_{\text{я}} = 0,50551 + 0,0137 \cdot X_2 + 0,2263 \cdot X_5 + 0,0216 \cdot X_9 + 0,0796 \cdot X_{10} + 0,0152 \cdot X_{11} - 0,123 \cdot X_{12} - 0,0189 \cdot X_{19}. \quad (22)$$

Одержана модель незначуще відрізняється від моделі (17). Для шести АСП контрольної вибірки середньоквадратична помилка  $\sigma_{\text{linear}} = 0,032254$ . Відносне квадратичне відхилення  $S_r^{\text{linear}} = 5,1 \%$ .

#### 4. 4. Побудова нелінійних моделей системи на основі теорії нечітких множин

Розглянуто ще один спосіб ідентифікації моделі (3). Оскільки частина факторів є кількісною, а частина має якісний характер, то подібні задачі називають слабо структурованими. Для їх розв'язання доцільно використовувати апарат теорії нечітких множин. Експертом наочної області задаються параметри функцій належності вхідних факторів та результуючої характеристики. Тоді моделлю шуканої залежності буде система нечітких продукційних правил, побудованих на навчальній вибірці, а прогнозні значення вихідного параметру для підприємств, що складають контрольну вибірку, шукають за одним із алгоритмів нечіткого логічного виведення.

Для побудови даного типу моделі застосовано пакет Matlab та його модуль роботи з нечіткими множинами Fuzzy Logic Toolbox, в якому передбачено використання двох алгоритмів виведення: Мамдані та Сугено [27].

З метою формування системи нечітких правил за першим алгоритмом необхідно виконати розбиття просторів вхідних та вихідного параметрів на інтервали – терми та побудувати для кожного з них функції належності  $\mu$ . Розбиття базується на результатах попереднього морфологічного аналізу (табл. 1, 2). Оскільки в рамках даного дослідження модель містить 22 нечіткі правила та 7 факторів, то раціонально обрати трапецієподібні функції належності. В іншому випадку існує велика ймовірність, що адекватне застосування виведення Мамдані буде неможливим через використання операції знаходження мінімуму функції належності та її нульового значення.

Трапецієподібна функція належності визначається п'ятіркою елементів:  $a, b, c, d$  та  $h$ . Висота  $h=1$ . Інші параметри задаються в редакторі функцій належності Membership Function Editor модуля Fuzzy Logic Toolbox відповідно до рис. 3.

В табл. 9 наведено параметри функцій належності окремих термів  $A_i^j$  ( $i \in \{2, 5, 9, 10, 11, 12, 19\}$ ,  $j = \overline{1, k^i}$ ), які було визначено із залученням експер-

тів – працівників АСП;  $k^i$  – кількість термів  $i$ -го фактору. Терм  $A_i^j$  однозначно відповідає  $j$ -му варіанту  $i$ -ї морфологічної ознаки  $x_{ij}$ .

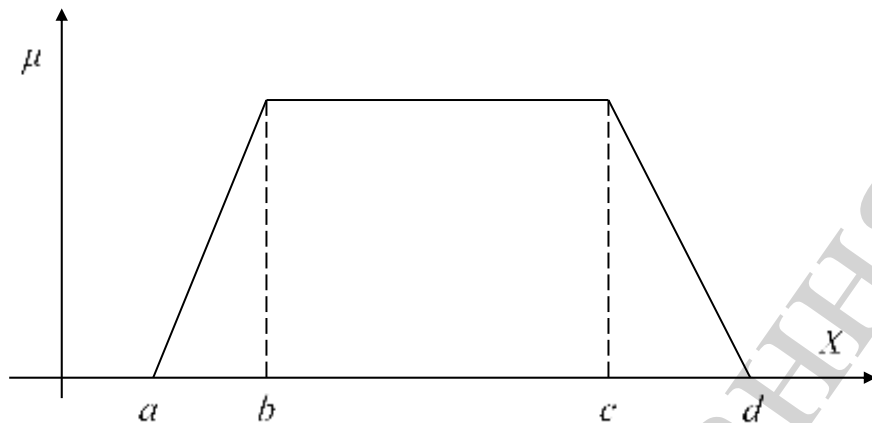


Рис. 3. Загальний вигляд трапецієподібної функції належності

Аналогічно, для коефіцієнта якості виконаних послуг  $K_{\text{я}}$  визначено та побудовано функції належності п'яти термів  $B^s (s = \overline{1,5})$ : дуже низький, низький, середній, високий та дуже високий (рис. 4).

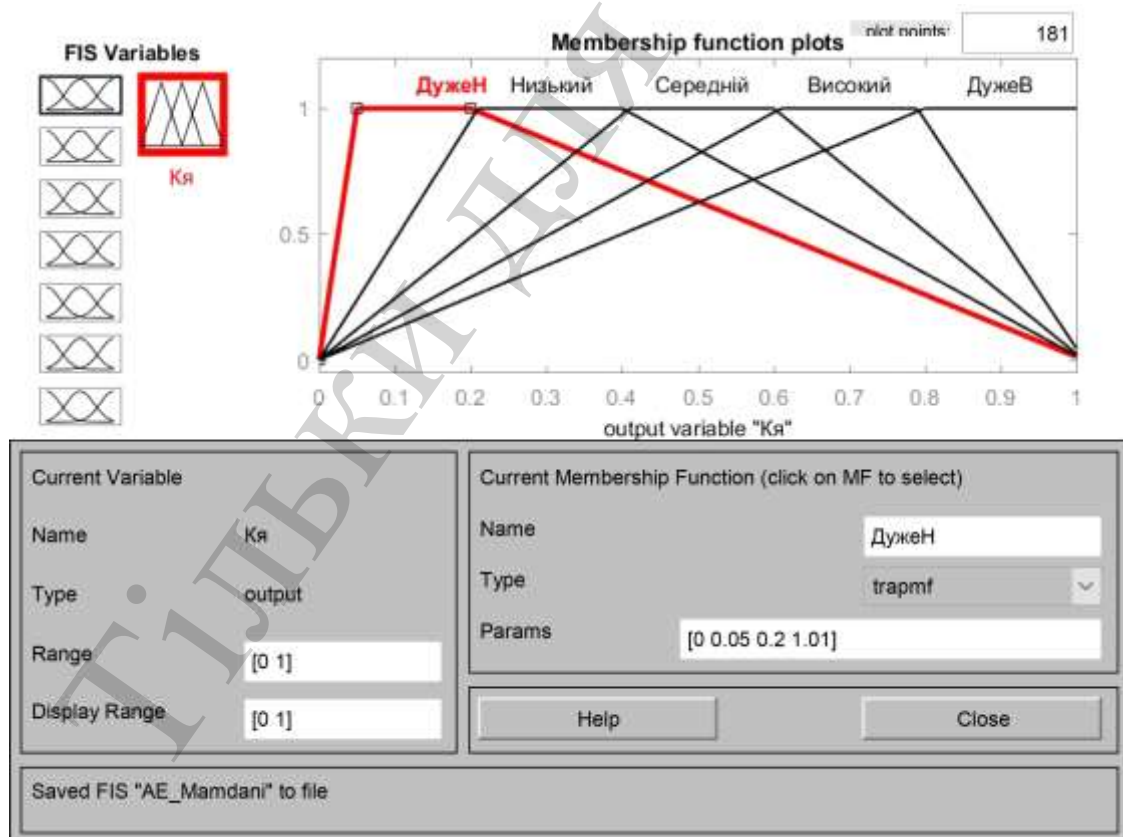


Рис. 4. Функції належності виходу моделі типу Мамдані

Таблиця 9

Параметри ТФН термів вхідних факторів системи

Фактор $X_i$	Терм $A_i^j$	Параметри функції належності $\mu$			
		$a$	$b$	$c$	$d$
$X_2$	$A_2^1$	0	0,5	1,5	8
	$A_2^2$	0	1,5	2,5	8
	$A_2^3$	0	2,5	3,5	8
	$A_2^4$	0	3,5	4,5	8
	$A_2^5$	0	4,5	5,5	8
	$A_2^6$	0	5,5	6,5	8
	$A_2^7$	0	6,5	7,5	8
$X_5$	$A_5^1$	0	0,1	0,4	2,5
	$A_5^2$	0	0,41	0,6	2,5
	$A_5^3$	0	0,61	0,8	2,5
	$A_5^4$	0	0,81	1	2,5
	$A_5^5$	0	1,01	2,49	2,5
$X_9$	$A_9^1$	0	0,5	1,5	5
	$A_9^2$	0	1,5	2,5	5
	$A_9^3$	0	2,5	3,5	5
	$A_9^4$	0	3,5	4,5	5
$X_{10}$	$A_{10}^1$	0	0,5	1,5	4
	$A_{10}^2$	0	1,5	2,5	4
	$A_{10}^3$	0	2,5	3,5	4
$X_{11}$	$A_{11}^1$	0	0,5	1,5	5
	$A_{11}^2$	0	1,5	2,5	5
	$A_{11}^3$	0	2,5	3,5	5
	$A_{11}^4$	0	3,5	4,5	5
$X_{12}$	$A_{12}^1$	0	0,5	1,5	4
	$A_{12}^2$	0	1,5	2,5	4
	$A_{12}^3$	0	2,5	3,5	4
$X_{19}$	$A_{19}^1$	0	0,5	1,5	6
	$A_{19}^2$	0	1,5	2,5	6
	$A_{19}^3$	0	2,5	3,5	6
	$A_{19}^4$	0	3,5	4,5	6
	$A_{19}^5$	0	4,5	5,5	6

На наступному кроці у відповідності до вихідних даних (табл. 3, 4) та параметрів термів вхідних факторів (табл. 9) сформовано базу правил, яким у загальному вигляді відповідає наступний вираз:

$$\bigvee_{p=1}^{22} \left( \text{Якщо } \bigwedge_{i=1}^7 X_i \in A_{ip}^j, \text{ то } K_{\text{я}} \in B_p^s \right), \quad (23)$$

де  $X_i$  –  $i$ -й параметр системи автосервісу;  $A_{ip}^j$  –  $j$ -й терм, до якого належить значення  $i$ -го параметру системи, для АСП з індексом  $p$  в масиві вхідних даних;  $K_{\text{я}}$  – коефіцієнт якості виконання технологічних процесів;  $B_p^s$  –  $s$ -й терм, до якого належить значення  $K_{\text{я}}$  для АСП з індексом  $p$ .

Побудовані нечіткі логічні правила системи типу Мамдані, які у своїй сукупності є моделлю (3), наведено на рис. 5.

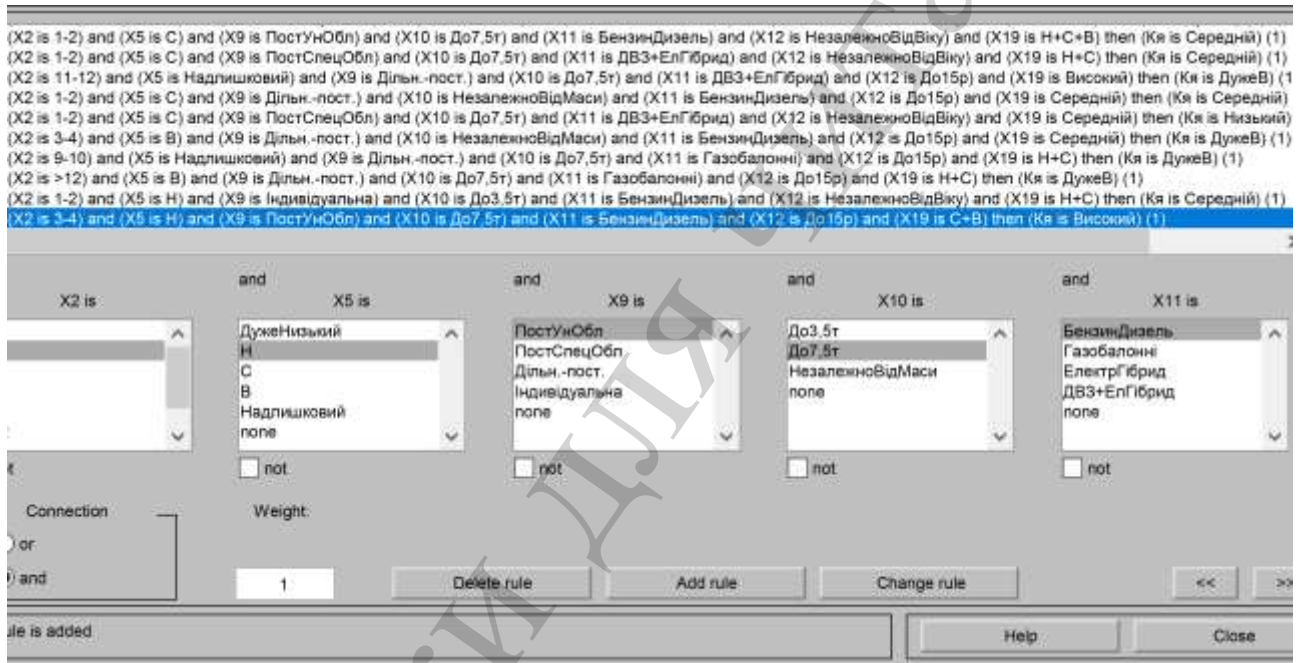


Рис. 5. Нечіткі правила виведення моделі типу Мамдані

Правила приймаються рівнозначними, тому вага кожного правила  $W_p=1$ ,  $p = \overline{1, 22}$ .

При побудові системи логічного виведення Сугено для вхідних змінних моделі було застосовано розбиття на терм-множини та параметри функцій належності системи типу Мамдані. Вихідний параметр задається набором констант, які відповідають значенням  $K_{\text{я}}$  в навчальній вибірці, що було впорядковано за зростанням (рис. 6).

Моделю (3) у вигляді бази правил системи логічного виведення Сугено будується за наступним принципом:

$$\bigvee_{p=1}^{22} \left( \text{Якщо } \bigwedge_{i=1}^7 X_i \in A_{ip}^j, \text{ то } K_{\text{я}} = K_{\text{я} \text{ tabl}} \right), \quad (24)$$



де  $K_{я\,tabl}$  – значення коефіцієнта якості технологічних процесів відповідного АСП з навчальної вибірки.

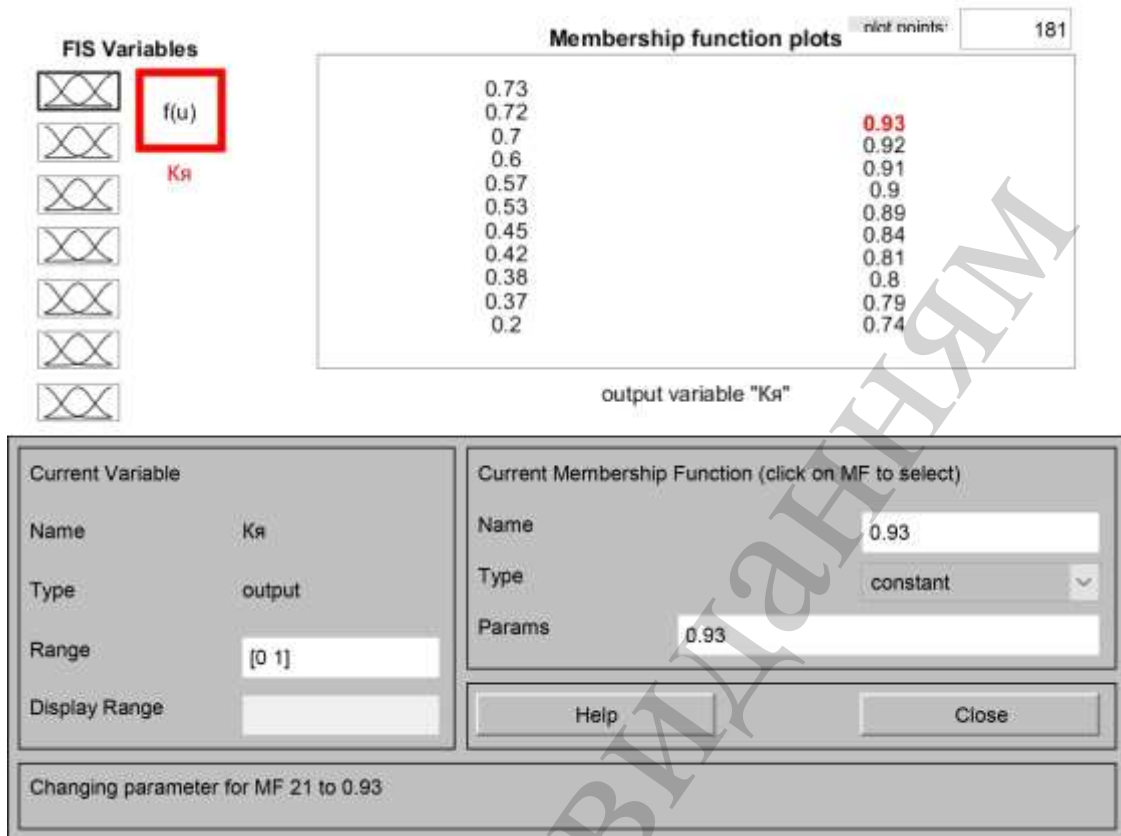


Рис. 6. Параметри вихідної змінної моделі типу Сугено

Вагові коефіцієнти правил дорівнюють одиниці. Побудовані нечіткі логічні правила системи типу Сугено представлено на рис. 7.

Реалізація правил системи логічного виведення в системі Сугено аналогічна реалізації в системі Мамдані. Візуалізація логічного виведення на прикладі одного з підприємств контрольної вибірки наведено на рис. 8.

Змінюючи у вікні перегляду нечіткої схеми правил поточні значення входних параметрів на перспективні (рис. 8), аналітики мають змогу здійснити прогноз щодо розвитку конкретної системи автосервісу.

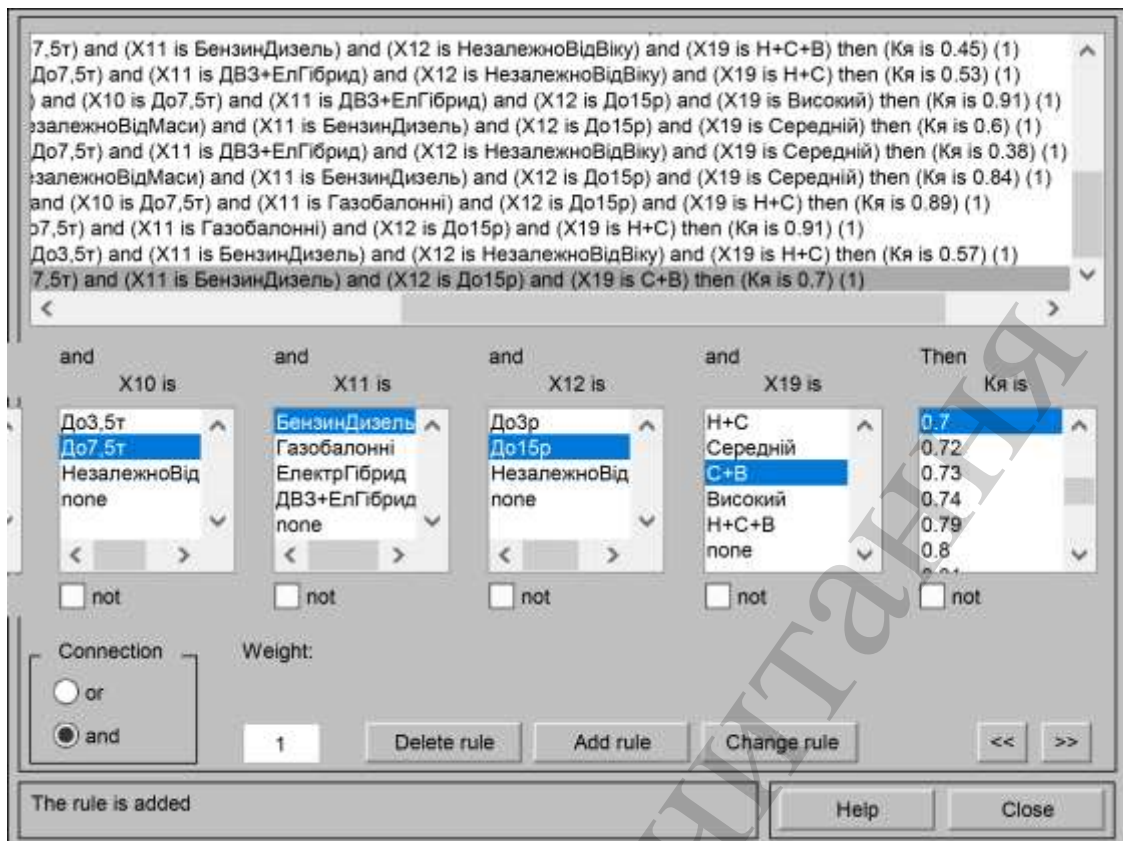


Рис. 7. База правил логічного виведення моделі типу Сугено

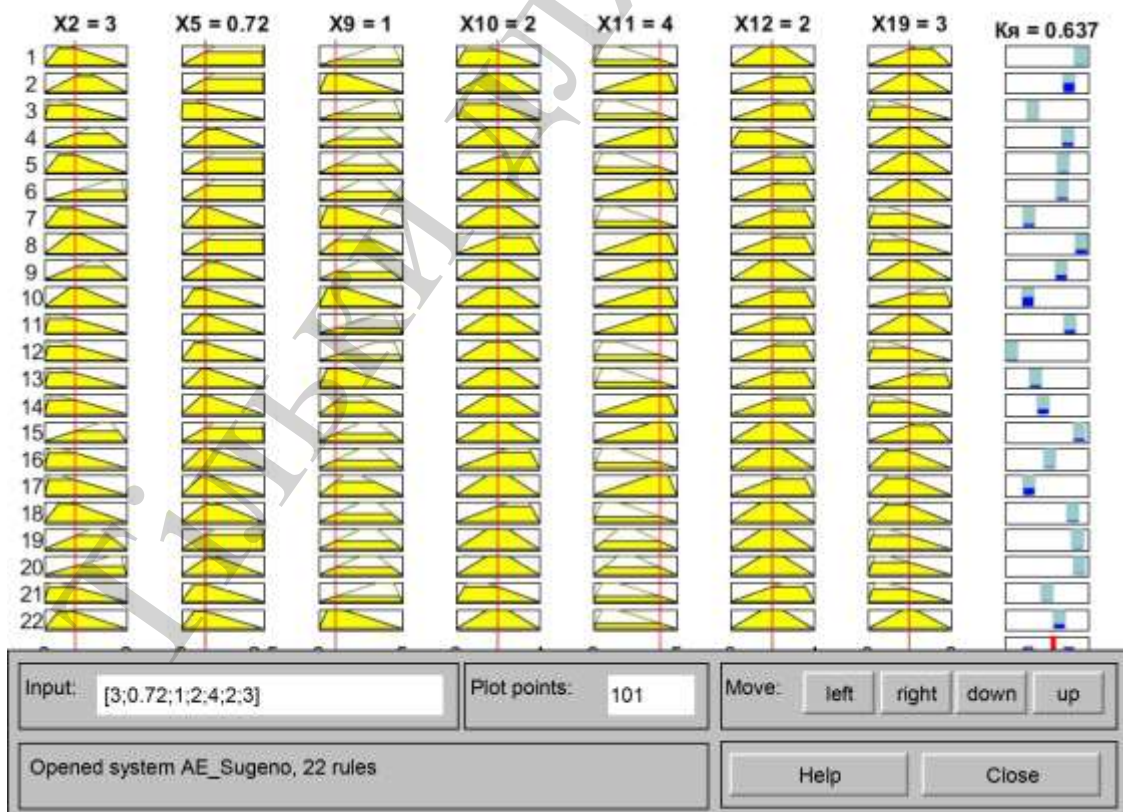


Рис. 8. Виведення значення  $K_y$  для ТОВ «Дніпромотор»

## 5. Вибір адекватної моделі для оцінювання якості технологічних процесів

Підстановка значень морфологічних ознак підприємств контрольної вибірки до кожної з отриманих моделей в якості параметрів дозволяє оцінити точність даних моделей. Значення середньоквадратичного відхилення та відносно-го квадратичного відхилення розраховується за формулами (18), (19).

З метою вибору більш адекватної моделі при реалізації нелінійних моделей за алгоритмом Мамдані було застосовано наступні методи дефазифікації [28]: медіани, центра ваги, найбільшого з максимумів, найменшого з максимумів, середнього з максимумів. Виведення за алгоритмами перших чотирьох методів дало похибку більшу, ніж за алгоритмом, що реалізує метод середнього з максимумів. Для системи типу Сугено використано методи дефазифікації: зваженого середнього та зваженої суми. Найбільша точність була досягнута за першим методом. Порівняльний аналіз лінійної та нелінійних моделей представлено в табл. 10.

Таблиця 10

Порівняння точності результатів моделювання системи

$i$	Назва АСП	Квадратичне відхилення			Відносне квадратичне відхилення		
		$\sigma_{linear}$	$\sigma_{Mamdani}$	$\sigma_{Sugeno}$	$S_r^{linear}$	$S_r^{Mamdani}$	$S_r^{Sugeno}$
4	КОЛОС-АВТО, м. Черкаси	0,06354	0,0121	0,00314	0,09223	0,01756	0,0046
9	«Авторейка», м. Черкаси	0,02060	0,03063	0,00116	0,04456	0,06623	0,0025
12	ТОВ «Дніпромотор», м. Дніпро	0,00008	0,00003	0,00001	0,00019	0,00006	0,00002
20	Автомийка «НЕПТУН», м. Черкаси	0,03347	0,00723	0,01124	0,05795	0,01251	0,0195
22	Шиномонтаж «Твоя шина», м. Черкаси	0,02355	0,00203	0,0036	0,04672	0,00402	0,0071
26	Tesla Service, м. Київ	0,05228	0,03803	0,02465	0,06455	0,04694	0,0304
Середнє значення		0,03225	0,01500	0,0073	0,05103	0,02455	0,01068

Для шести точок контрольної вибірки найменша середньоквадратична помилка становить 0,007298, відносна середньоквадратична помилка – 1,07 %. Найбільша точність моделювання досягнута при використанні системи нечіткого логічного виведення типу Сугено.

Для довільного АСП можна дослідити динаміку змін результуючої характеристики від двох обраних параметрів системи при фіксованих значеннях інших параметрів. Візуально дана залежність являє собою поверхню  $K_y = F(X_i, X_j)$ . Оскільки більш впливовим серед всіх параметрів є рівень забезпеченості персоналом, то

доцільно обрати  $X_5$  одним з аргументів поверхні. На рис. 9, 10 зображено залежності виходів моделі Мамдані та Сугено відповідно від рівня забезпеченості персоналом та середнього віку автомобілів, що обслуговуються, для одного й того ж АСП.

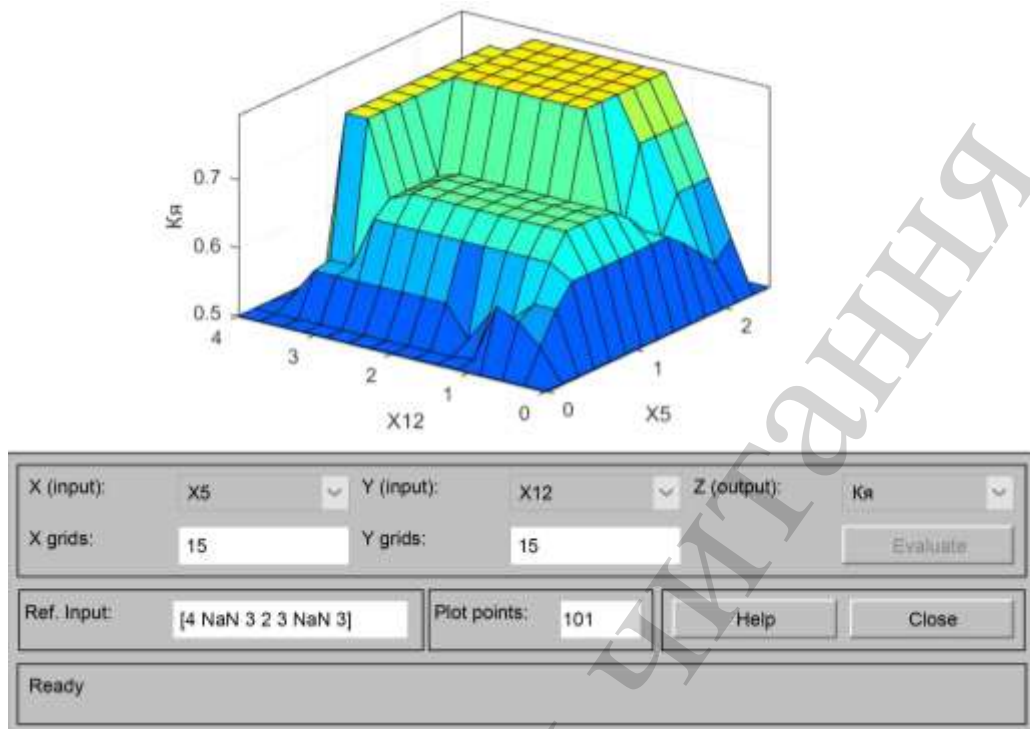


Рис. 9. Залежність  $K_{я}$  від рівня забезпеченості персоналом та середнього віку автомобілів в системі типу Мамдані

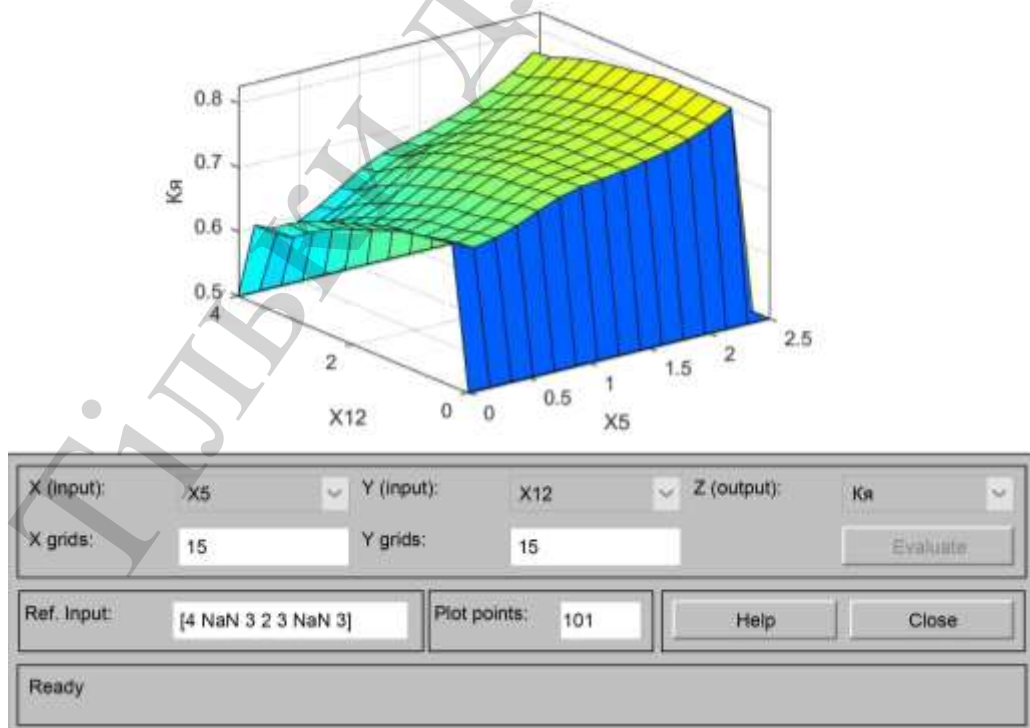


Рис. 10. Залежність  $K_{я}$  від рівня забезпеченості персоналом та середнього віку автомобілів в системі типу Сугено

Візуальне представлення результатів моделювання системи типу Мамдані є більш наочним. Хоча поверхня Сугено, як зазначалось, більш адекватна до оригіналу.

Інтерес також представляє аналіз характеру впливу на якість виконання технологічних процесів тих параметрів, рішення про налаштування та коригування яких може прийматися власниками АСП безпосередньо. Так, на рис. 13 представлено залежність виходу системи типу Мамдані від потужності АСП та форми організації виробництва.

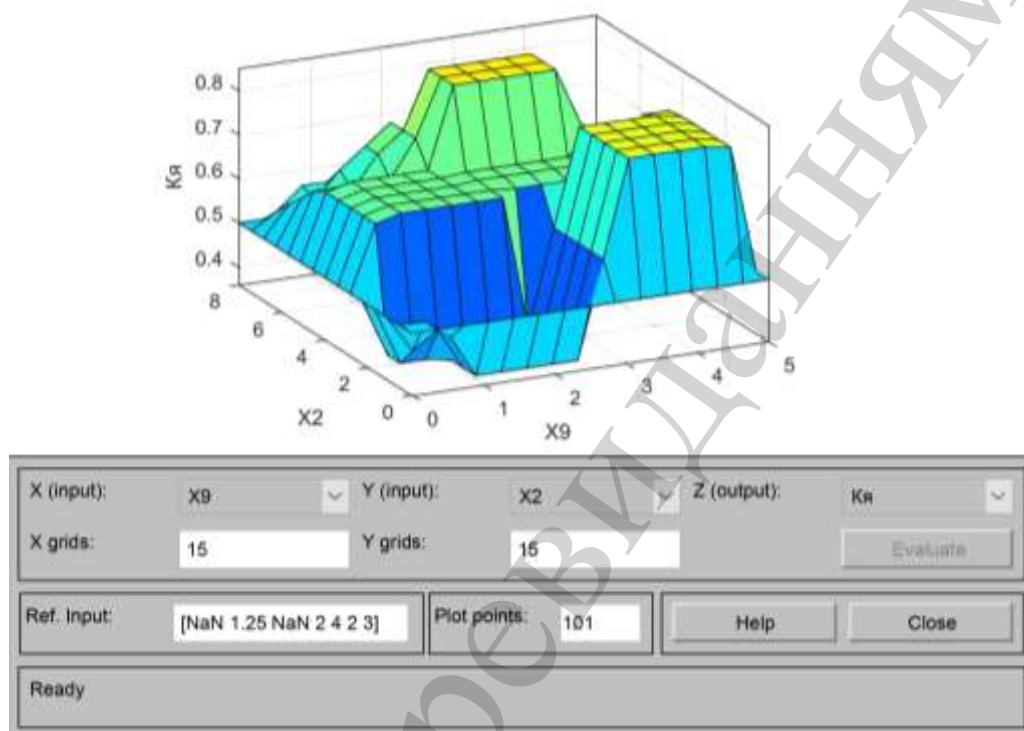


Рис. 11. Залежність  $K_q$  від кількості постів на АСП та форми організації виробництва

Виходячи з аналізу поверхні, можна зробити висновок про те, що для заданого АСП найбільший рівень якості досягається за умов дільнично-постової або індивідуальної форм організації виробництва і кількості постів – 7 та більше.

## 6. Обговорення результатів дослідження систем автосервісу

На стадії морфологічного аналізу було визначено 19 морфологічних ознак системи автосервісу, що впливають на якість виконання технологічних процесів АСП. Вибір ознак базується на результатах анкетування, що було проведено в межах досліджуваних АСП із залученням експертів – працівників даних підприємств. Для функціонального елементу системи «АСП» з переліку, наданого експертами, обрано ознаки, на які безпосередньо має вплив керівництво та власники АСП. Для функціональних елементів «Автомобілі» та «Середовище» обрано морфологічні ознаки, які за думкою експертів мають вплив на якість технологічних процесів АСП, та значення яких можливо визначити на основі актуальної статистичної інформації в межах інформаційного простору України. При



виборі ознак, що мають кількісний характер, враховано можливість дослідження їх структури та отримання алгоритмів розрахунку. Ознаки елементів «Автомобілі» та «Середовище» є некерованими в межах АСП, але мають бути враховані в процесі пошуку стратегій підвищення якості технологічних процесів. Розраховано кількість можливих конфігурацій систем автосервісу, що складає  $5,57 \cdot 10^{11}$ . Значна кількість конфігурацій пояснюється наявністю різних варіантів реалізації кожної з морфологічних ознак.

Необхідність побудови уніфікованої моделі системи автосервісу продиктована неможливістю дослідити всі її конфігурації. Проте, результати морфологічного аналізу дозволили визначити параметри математичної моделі системи, які однозначно відповідають морфологічним ознакам її функціональних елементів. Застосування алгоритму Фаррара-Глобера дозволило здійснити препроцесінг початкового масиву даних та визначити серед 19 параметрів системи сім незалежних. Вибір незалежних параметрів ґрунтується на результатах статистичних оцінок, що було розраховано на кожній ітерації зазначеного алгоритму. Наявність залежності між параметрами в початковому масиві даних пояснюється взаємопов'язаністю окремих морфологічних ознак, яка не була явною на стадії морфологічного аналізу. Визначення незалежних параметрів сприяло побудові адекватних моделей та знизило складність подальших розрахунків.

Отримано модель системи автосервісу у вигляді множинної лінійної регресії, яка дозволяє кількісно оцінити вплив кожного із зазначених параметрів на функціонування АСП. Значення коефіцієнтів в рівнянні регресії (22) свідчать про те, що найбільшу вагу мають рівень забезпеченості персоналом та вік автомобілів, що обслуговуються на даному підприємстві. Відносна середньоквадратична похибка даної моделі складає 5,1 %. Проте модель дає високу одиничну точність лише для типових середніх та крупних АСП (рис. 1, 2). Це пояснюється неточністю інформації, наданою керівниками АСП гаражного типу. Зазначені АСП не мають Інтернет-сайтів, що унеможливило здійснення перевірки значень їх параметрів.

В процесі вирішення четвертої задачі для системи автосервісу побудовано нелінійні моделі у вигляді систем нечіткого логічного виведення. Більш висока точність моделювання при цьому зросла завдяки використанню апарату нечітких множин, в якому закладено можливість використання неточних, приблизних даних.

На точність системи нечіткого логічного виведення також впливають тип та параметри обраних функцій належності для входів та виходів системи. Результати комп'ютерного експерименту довели доцільність використання трапецієвидних функцій належності з параметрами, які наведено в табл. 9. В процесі тестування систем логічного виведення Мамдані та Сугено на АСП контрольної вибірки визначено більш адекватну модель та виявлено, що метод дефазифікації також впливає на точність результату. Більш адекватною до реальних систем автосервісу є математична модель типу Сугено, в якій реалізовано метод дефазифікації зваженого середнього. Відносне середньоквадратичне відхилення виходу даної моделі в два рази менше, ніж в моделі типу Мамдані, та в п'ять разів менше в порівнянні з лінійною моделлю. Більш висока точність моделі Сугено пояснюється тим, що значення вихідної характеристики в зазначеній моделі задано в кількісному вигляді.

ді. Модель типу Мамдані доречно використовувати, коли немає можливості кількісно оцінити рівень якості виконаних технологічних процесів на АСП. Однією з переваг використання систем нечіткого логічного виведення є можливість візуалізації результатів дослідження довільного АСП. Отримана модель системи автосервісу може бути застосована для контролю поточного і прогнозування перспективного рівнів якості виконання технологічних процесів та для аналізу різних варіантів стратегій оптимізації роботи АСП.

В попередніх роботах не представлено системного дослідження функціонування АСП, яке враховувало б морфологічні ознаки, характеристики транспортних засобів та особливості середовища функціонування.

Реалізувати цей підхід дозволило використання методу морфологічного аналізу та синтезу можливих структур автосервісних підприємств і методики оцінювання якості технологічних процесів з врахуванням зміни параметрів морфологічних ознак основних функціональних елементів.

Перевагою такого підходу є те, що він дозволяє аналізувати ефективність функціонування не тільки існуючих АСП, а й оцінити велику кількість можливих структур системи та спрогнозувати якість технологічних процесів будь-яких структур АСП. Необхідно зазначити, що визначення та вилучення з подальшого розгляду залежних параметрів системи автосервісу дозволить в подальшому значно скоротити ресурси часу на збір статистичної інформації щодо довільних АСП, в оптимізації яких виникне потреба.

Застосування апарату нечітких множин, що враховує можливість похибки вхідних параметрів системи, свідчить про стійкість вихідної характеристики моделі до змін вхідних параметрів під впливом неврахованих зовнішніх факторів. Похибки виходів моделі типу Сугено (табл. 10), що отримано в процесі тестування систем контрольної вибірки, підтверджують відтворюваність результатуючої характеристики системи автосервісу. Обмеження на використання результатів дослідження накладають діапазони можливих значень морфологічних ознак функціональних елементів системи.

Недоліком даного дослідження є обстеження систем автосервісу лише на мікрорівні, тобто в межах функціонування одного підприємства. Подальші дослідження доцільно розвивати у напрямку розробки моделей та методик оцінки якості виконаних автосервісних послуг, що пропонуються мережею АСП на регіональному та державному рівнях.

## **7. Висновки**

1. Для оцінки рівня якості технологічних процесів АСП запропоновано морфологічну структуру типової системи автосервісу, яка містить три функціональні елементи: АСП, автомобілі, середовище. Визначено суттєві морфологічні ознаки функціональних елементів та варіанти їх реалізації. Аналіз системи дозволив встановити інтервали, в яких вимірюються параметри моделі досліджуваної системи, та здійснити розбиття даних інтервалів на терми. На основі результатів морфологічного аналізу проведено статистичне дослідження 28 типових АСП України та сформовано масив вихідних даних для подальших розрахунків.

2. Для усунення мультиколінеарності вхідних параметрів системи здійснено препроцесінг результатів обстеження АСП, завдяки чому потужність масиву вихідних даних було зменшено з 19 до 7 незалежних параметрів. Таким чином, на якість виконання технологічних процесів суттєво впливають наступні фактори: потужність АСП (кількість постів), рівень забезпеченості персоналом, форма організації виробництва, вік і категорія автомобілів, що мають більшу частку звернень до АСП в їх загальній кількості, тип їх енергетичної установки, а також рівень доходу клієнтів.

3. Досліджено можливості структурної та параметричної ідентифікації лінійної моделі системи, в результаті чого визначено характер впливу вхідних параметрів на вихід моделі. Виявлено, що найбільшу вагу для оцінки якості має рівень забезпеченості персоналом, що визначає стратегію підвищення кваліфікації персоналу як одну з пріоритетних серед інших стратегій оптимізації роботи АСП.

4. Побудовано нелінійні моделі системи у вигляді систем нечіткого логічного виведення Мамдані та Сугено. Нечіткі логічні правила описують нелінійну залежність з точністю до 2,45 % та 1,07 % відповідно. Вони дозволяють враховувати якісні фактори поряд з кількісними, можуть бути інтегровані в систему прийняття управлінських рішень з метою визначення оптимальних режимів роботи та підвищення стабільності функціонування АСП.

5. Проведено аналіз отриманих лінійної та нелінійних моделей, в результаті чого виявлено, що в сфері функціонування АСП найбільш адекватною до реальних умов є модель типу Сугено, що використовує алгоритм дефазифікації за методом зваженого середнього. Відносна похибка виходу моделі складає 1,07 %.

## Література

1. Mateichyk, V. P., Tarandushka, L. A., Kostian, N. L. (2018). Optimization of autoservice enterprises activity based on the current state indicators. *Systems and means of car transport. Problems of exploitation and diagnostics*, 14, 91–99.
2. Тарандушка, Л. А., Костян, Н. Л. (2018). Функціональна модель вибору стратегії форми організації виробництва для якісного виконання послуг на автосервісному підприємстві. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1 (10), 131–136. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt\\_2018\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_23)
3. Тарандушка, Л. А., Костян, Н. Л. (2019). Програмна підтримка реструктуризації виробництва в системі управління якістю авто сервісного підприємства. *Науковий вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу*, 2 (47), 48–56. doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2019-2\(47\)-48-56](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2019-2(47)-48-56)
4. Khaksar, S. M., Nawaser, K., Jahanshahi, A. F., Kamalian, A. R. (2011). The relation between after-sales services and entrepreneurial opportunities: Case study of Iran-Khodro Company. *African Journal of Business Management*, 5 (13), 5152–5161. URL: [https://www.academia.edu/1470063/The\\_relation\\_between\\_after-sales\\_services\\_and\\_entrepreneurial\\_opportunities\\_Case\\_study\\_of\\_Iran-Khodro\\_Company](https://www.academia.edu/1470063/The_relation_between_after-sales_services_and_entrepreneurial_opportunities_Case_study_of_Iran-Khodro_Company)
5. McMurrian, R. C., Matulich, E. (2011). Building Customer Value And Profitability With Business Ethics. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*, 4 (11), 11–18. doi: <https://doi.org/10.19030/jber.v4i11.2710>



6. Baffour-Awuah, E. (2018). Service Quality in the Motor Vehicle Maintenance and Repair Industry: A Documentary Review. *International Journal of Engineering and Modern Technology*, 4 (1), 14–34. URL: <http://www.iiard.com/index.php/IJEMT/article/view/1130>
7. Velimirović, D., Duboka, Č., Damnjanović, P. (2016). Automotive maintenance quality of service influencing factors. *Tehnicki Vjesnik*, 23 (5), 1431–1438. doi: <https://doi.org/10.17559/tv-20140402074657>
8. Oliva, R., Kallenberg, R. (2003). Managing the transition from products to services. *International Journal of Service Industry Management*, 14 (2), 160–172. doi: <https://doi.org/10.1108/09564230310474138>
9. Stevanović, I., Stanojević, D., Nedić, A. (2013). Setting the after sale process and quality control at car dealerships to the purpose of increasing clients satisfaction. *Journal of Applied Engineering Science*, 11 (2), 81–88. doi: <https://doi.org/10.5937/jaes11-3821>
10. Tse, D. K., Wilton, P. C. (1988). Models of Consumer Satisfaction Formation: An Extension. *Journal of Marketing Research*, 25 (2), 204. doi: <https://doi.org/10.2307/3172652>
11. Bai, Y., Wang, D. (2006). Fundamentals of Fuzzy Logic Control – Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications. *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*, 17–36. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-469-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-469-4_2)
12. Świdorski, A., Jóźwiak, A., Jachimowski, R. (2018). Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artificial neural networks. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 20 (2), 292–299. doi: <https://doi.org/10.17531/ein.2018.2.16>
13. Martínez, J. A., Ko, Y. J., Martínez, L. (2010). An Application of Fuzzy Logic to Service Quality Research: A Case of Fitness Service. *Journal of Sport Management*, 24 (5), 502–523. doi: <https://doi.org/10.1123/jsm.24.5.502>
14. Savino, M. M., Sekhari, A. S. (2009). A quality management system based on fuzzy quality pointers in ISO 9000. *International Journal of Product Development*, 8 (4), 419. doi: <https://doi.org/10.1504/ijpd.2009.025255>
15. Shia, C. S., Khaohun, S. (2019). Fuzzy to Quality: A practical application of ISO 25000 (SQuaRE), ISO 9000 and Fuzzy Logic. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331984770\\_Fuzzy\\_to\\_Quality\\_A\\_practical\\_application\\_of\\_ISO\\_25000\\_SQuaRE\\_ISO\\_9000\\_and\\_Fuzzy\\_Logic](https://www.researchgate.net/publication/331984770_Fuzzy_to_Quality_A_practical_application_of_ISO_25000_SQuaRE_ISO_9000_and_Fuzzy_Logic)
16. Feili, H. R., Hassanzadeh Khoshdooni, M. (2011). A Fuzzy Optimization Model For Supply Chain Production Planning With Total Aspect Of Decision Making. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 02 (01), 65–80. doi: <https://doi.org/10.22436/jmcs.002.01.08>
17. Cioca, L.-I., Breaz, R., Racz, S.-G. (2006). Fuzzy Logic Techniques used in Manufacturing Processes Reengineering. *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization, (SMO 2006)*, 530–533. URL: [https://www.researchgate.net/publication/262399693\\_Fuzzy\\_logic\\_techniques\\_used\\_in\\_manufacturing\\_processes\\_reengineering](https://www.researchgate.net/publication/262399693_Fuzzy_logic_techniques_used_in_manufacturing_processes_reengineering)

18. Francalanza, E., Borg, J. C., Constantinescu, C. (2016). A Fuzzy Logic Based Approach to Explore Manufacturing System Changeability Level Decisions. *Procedia CIRP*, 41, 3–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.011>
19. Дмитриченко, М. Ф., Матейчик, В. П., Грищук, О. К., Цюман, М. П. (2014). Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки. Київ: НТУ, 168.
20. Тарандушка, Л. А. Костян, Н. Л. (2018). Трирівнева модель системи менеджменту якості автосервісних підприємств. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. Миколаїв: МТУ, Миколаївська політехніка, 65–67.
21. Напольский, Г. М. (1993). Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. Москва: Транспорт, 271.
22. Матейчик, В. П., Половко, М. В., Смешек, М., Коломієць, С. В. (2013). Оцінка викидів забруднюючих речовин в процесі технологічного циклу обслуговування транспортних засобів. Вісник Севастопольського національного технічного університету. Машино-приладобудування та транспорт, 142, 166–169.
23. Гуржій, Н. М., Овчаренко, А. І. (2016). Оцінка логістичного потенціалу підприємства як основа вибору його логістичної стратегії. Глобальні та національні проблеми економіки, 13, 244–248. URL: <http://global-national.in.ua/archive/13-2016/50.pdf>
24. Лудченко, О. А. (2004). Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління. Київ: Знання, 479.
25. Снитюк, В. Є. (2008). Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. Київ: Маклаут, 364.
26. Наконечний, С. І., Терещенко, Т. О., Романюк, Т. П. (2004). Економетрія. Київ: КНЕУ, 520.
27. Рутковская, Д., Пилинский, М., Рутковский, Л. (2008). Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Москва: Горячая линия – Телеком, 452.
28. Штовба, С. Д. (2007). Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. Москва: Горячая линия – Телеком, 288.